



Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen

„Vergleichende Untersuchungen zwischen zwei Laboren aus Anwendung und Forschung“

Sitzung des AK-Thermophysik in der GEFTA
3.-4.März 2026, Gräfeling

Autoren:

Steffen Feja (ILK), Thomas Porada (aqua-Concept),
Christian Hanzelmann (ILK), Margit Junk (ILK)

Thermodynamik von Arbeitsfluiden der Kältetechnik

Unabhängig, kritisch bestimmte Daten von Arbeitsfluid-Systemen bilden die Basis, richtige Entscheidungen zu treffen.

- Mischbarkeit
- Pour Point von Ölen
- Flockpunkt / **Kristallisation**
- **Dichtebestimmung**
- **Viskositätsuntersuchungen**
- Dampfdruck
- Schaumuntersuchungen
- **Wärmekapazität**
- Wärmeleitfähigkeit
- Thermisches Verhalten mit DSC
- Dielektrizitätskonstante
- Verlustfaktor
- Volumenwiderstand
- Oberflächenspannung

0 - 160 bar

-60 - 150 °C

Kühlsolen

Nach ASTM D 1177



➤ Wärmeträgerflüssigkeiten aus z.B.

- wässrige Salzlösungen
- bzw. Wasser-Glykollmischung (MEG, PG)

➤ genutzte Vorteile z.B.

- Verringern den Gefrierpunkt
- Gute Wärmeleitfähigkeit
- Höhere Wärmekapazität als z.B. Thermoöle

➤ Nachteile z.B.

- korrosiv
- hohe Viskosität bei tiefen Temperaturen

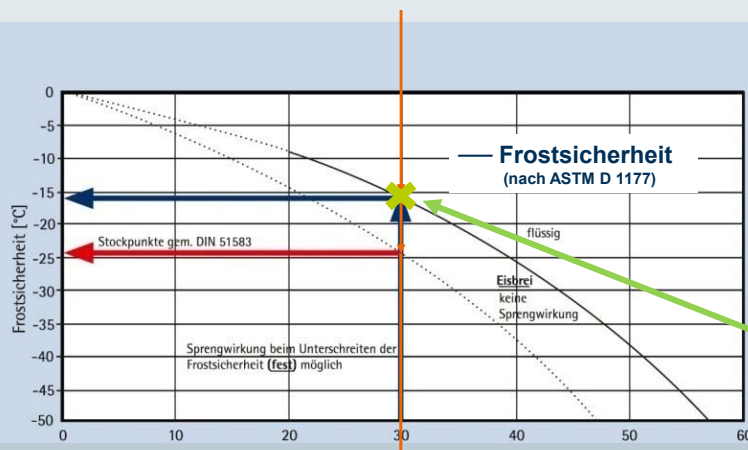


S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen, AKT Sitzung Gräfelung 2.-3. März 2026

3

„Freezing Point“ - nach ASTM D 1177

Gefrierpunkt, Frostsicherheit, Kristallisationspunkt, Frostschutz etc.



Nicht zu verwechseln mit

- **Cloud Point** → Trübungspunkt (Wachskristalle bei Mineralölen)
- **Stockpunkt** (Flüssigkeit fließt gerade noch so)
- **Pour Point** → Fließpunkt (Flüssigkeit fließt nicht mehr)
- **Solidification Point** → Erstarrungspunkt (fest)



Wärmeträger – physikalische und chemische Zusammenhänge KKA 01/2015

https://www.kka-online.info/artikel/kka_Waermetraeger_physikalische_und_chemische_Zusammenhaenge-2275672.html

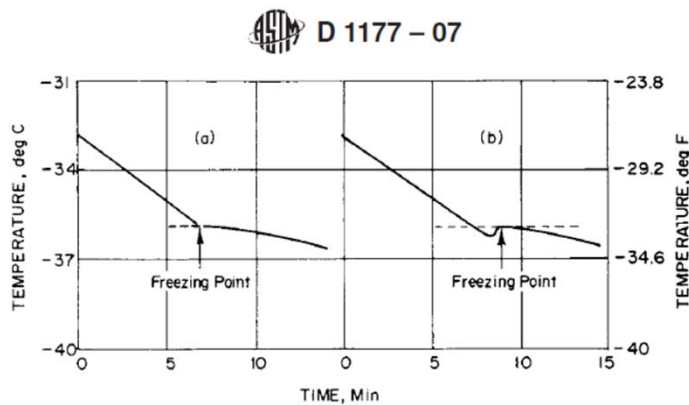
S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen, AKT Sitzung Gräfelung 2.-3. März 2026

4

„Freezing Point“ - nach ASTM D 1177



Gefrierpunkt, Frostsicherheit, Kristallisationspunkt, Frostschutz etc.



Langsames Abkühlen (<1 K/min)
unter Rühren

- a) ideal ohne Unterkühlung
- b) real mit Unterkühlung

Unterkühlung

- max. 1 K, ansonsten Wiederholung
- verhindern durch Kristallzugabe

Methode nach ASTM D 1177

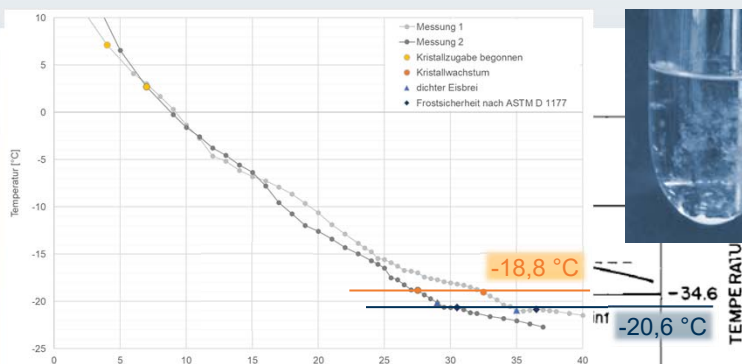
S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen, AKT Sitzung Gräfelung 2.-3.März 2026

5

„Freezing Point“ - nach ASTM D 1177



Gefrierpunkt, Frostsicherheit, Kristallisationspunkt, Frostschutz etc.



Langsames Abkühlen (<1 K/min)
unter Rühren

- a) ideal ohne Unterkühlung
- b) real mit Unterkühlung

Unterkühlung

- max. 1 K, ansonsten Wiederholung
- verhindern durch Kristallzugabe

Methoden nach ASTM D 1177

- händisch (ILK Dresden)

Probennummer	Kristallwachstum	Frostsicherheit
WT 6N F-20 M#251102	-18,8 °C	-20,6 °C
WT 6P F-15 M#251103	-13,6 °C	-14,5 °C
GT ECO AF-14 M#251104	-10,3 °C	-12,9 °C

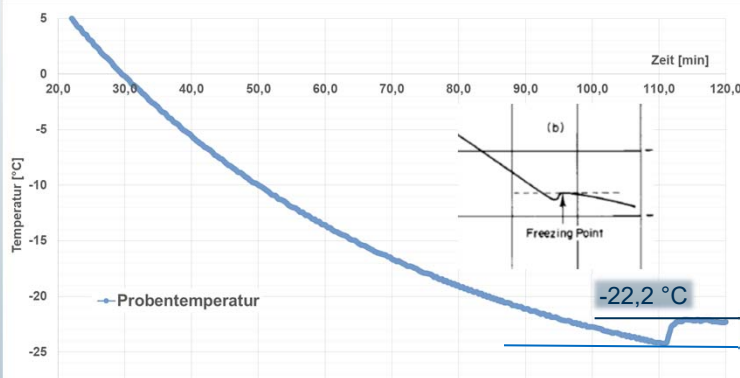
S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen, AKT Sitzung Gräfelung 2.-3.März 2026

6

„Freezing Point“ - nach ASTM D 1177



Gefrierpunkt, Frostsicherheit, Kristallisationspunkt, Frostschutz etc.



Langsames Abkühlen (<1 K/min)
unter Rühren

- a) ideal ohne Unterkühlung
- b) real mit Unterkühlung

Unterkühlung

- max. 1 K, ansonsten Wiederholung
- verhindern durch Kristallzugabe

Probennummer	Frostsicherheit (ILK)	min. Temp.	max. Temp.	ΔT
				min. – max.
WT 6N F-20 M#251102	-20,6 °C	-24,1 °C	-22,2 °C	1,9 K
WT 6P F-15 M#251103	-14,5 °C	-22,8 °C	-16,9 °C	5,9 K
GT ECO AF-14 M#251104	-12,9 °C	-18,7 °C	-13,7 °C	5,0 K

Methoden nach ASTM D 1177

- händisch (ILK Dresden)
- automatisch (aquaconcept)

S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen, AKT Sitzung Gräfelung 2.-3.März 2026

7

Bestimmung der Dichte

SVM 3001 Cold Properties von Anton Paar



Spezifikationen

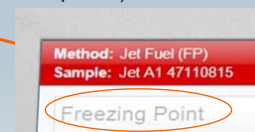
➤ Messung von Viskosität, Dichte, Viskositätsindex

- Temperaturbereich -60 °C bis +100 °C
- Dichte 0 g/cm³ bis 3 g/cm³
- kinematische Viskosität 0,2 cSt bis 30.000 cSt

speziell SVM 3001 Cold properties

- Cloud Point, freezing Point (Gefrierpunkt)
- Pourpoint

- Cloud Point ??
- Pourpoint ??



S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen, AKT Sitzung Gräfelung 2.-3.März 2026

8

Bestimmung der Dichte

DMA HPM von Anton Paar

Spezifikationen

➤ Dichte, Schall (anderer Sensor)

- Temperaturbereich -20 °C bis +200 °C (ILK: 140 °C)
- Druckbereich 0 bis 1400 bar (ILK: 160 bar)
- Dichte 0,0001 g/cm³ bis 3,0 g/cm³

Kalibrierung

- Dichlormethan, Wasser, Pentan, Vakuum, Stickstoff
- über gesamten Druck und Temperaturbereich



<https://www.anton-paar.com>



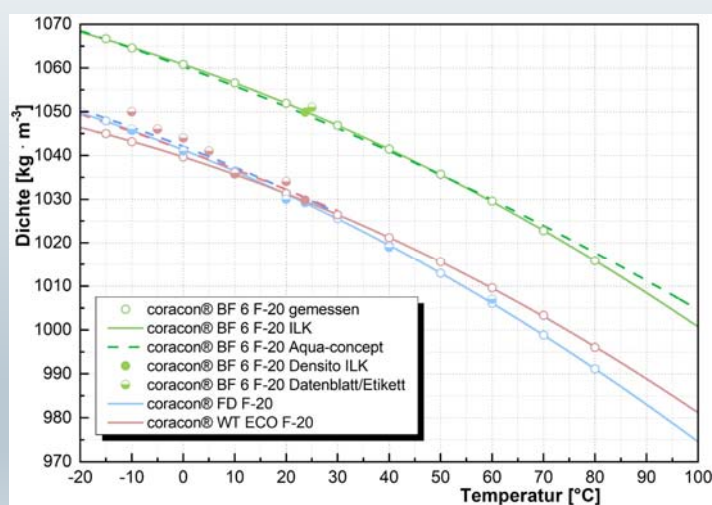
<https://www.labwrench.com>

S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kùhlsolen, AKT Sitzung Gräfeling 2.-3.März 2026

9

Bestimmung der Dichte

SVM 3001 Cold Properties von Anton Paar



Messungen

- Messung der Dichte von -15... 80 °C
- polynomische Anpassung
- Vergleich mit den Messungen
 - Aqua-concept (max. 0,4 %)
 - Kontrollwert mit Handgerät Densito
 - Werte aus Datenblatt (max. 0,6 %)



Temperatur (°C)	Dichte (g/cm ³)	Kinem Viskosität (cSt)	Dyn. Viskosität (mPa·s)
-10	1,05	11,52	12,1
-5	1,046	7,84	8,2
0	1,044	5,94	6,2
5	1,041	4,90	5,1
10	1,036	4,33	4,5
20	1,034	3,09	3,2

S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kùhlsolen, AKT Sitzung Gräfeling 2.-3.März 2026

10

Bestimmung der kinematischen Viskosität

SVM 3001 Cold Properties von Anton Paar



<https://www.anton-paar.com>

Spezifikationen

- Messung von Viskosität, Dichte, Viskositätsindex
 - Temperaturbereich -60 °C bis +100 °C
 - Dichte 0 g/cm³ bis 3 g/cm³
 - kinematische Viskosität 0,2 cSt bis 30.000 cSt

speziell SVM 3001 Cold properties

- Cloud Point ???
- Pourpoint (nach Methode des ILK)
- Viskositätsindex

→ Ersatz für Ubbelohde Viskosimeter



© <https://www.analytix-shop.com/>

S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kùhlsolen, AKT Sitzung Gräfelung 2.-3.März 2026

11

Bestimmung der dynamischen Viskosität

Oscillating Piston Cambridge Viscosimeter



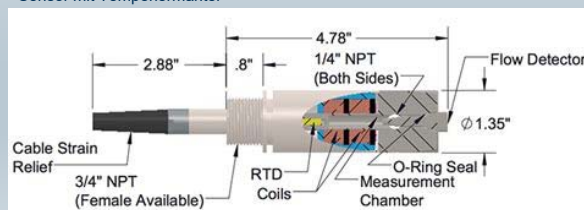
Sensor mit Temperiermantel



Pistons für verschiedene Viskositätsbereiche

Spezifikationen

- Messung von Viskosität
 - Temperaturbereich -40 °C bis +190 °C
 - Druckbereich 0 bar bis 160 bar
 - Dynamische Viskosität 0,25 cP bis 20.000 cP
 - notwendig: verschiedene Pistons für verschiedene Viskositätsbereiche



Aufwändige Kalibrierung notwendig

- naturgemäß ist Signal abhängig von der Viskosität
- Sehr starke Temperaturabhängigkeit
- Bei kleinen Spalten (kleine Viskosität) druckabhängig

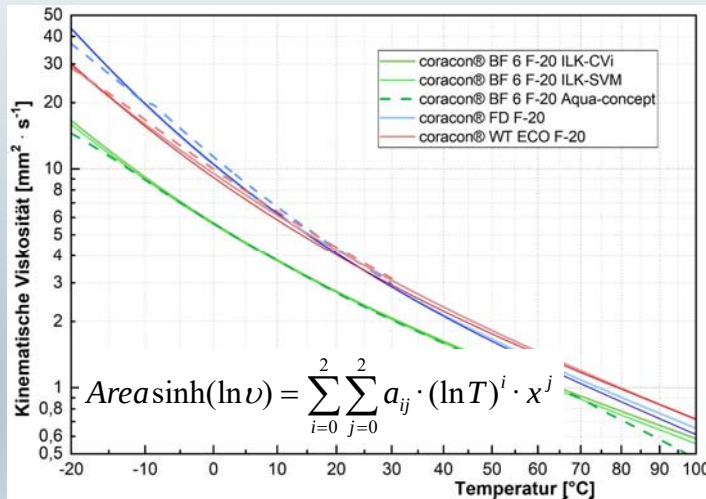
S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kùhlsolen, AKT Sitzung Gräfelung 2.-3.März 2026

12

Bestimmung der kinematischen Viskosität



Dynamische Viskosität (CVi) / Dichte (SVM) & mit SVM 3001 CP



Messungen

- Messung der dyn. Viskosität mit CVi
 - umrechnen in kinematische Viskosität
- Messung der kin. Viskosität mit SVM 3001 CP
 - polynomische Anpassung
- Vergleich mit den Messungen
 - Aqua-concept (max. 14,8 %)

S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen, AKT Sitzung Gräfeling 2.-3. März 2026

13

Bestimmung der Wärmekapazität



Setaram µDSC 7 evo – step method



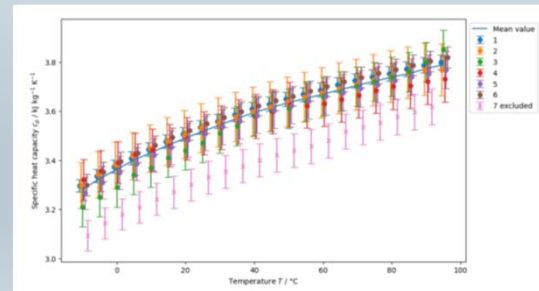
<https://www.tetraanaliz.com/microdsc7-evo>

Spezifikationen

- Temperaturbereich -45 °C bis +120 °C
- Druckbereich bis 100 bar
- Zellvolumen ~1 ml

Korrekturfunktion

- Toluol und Wasser



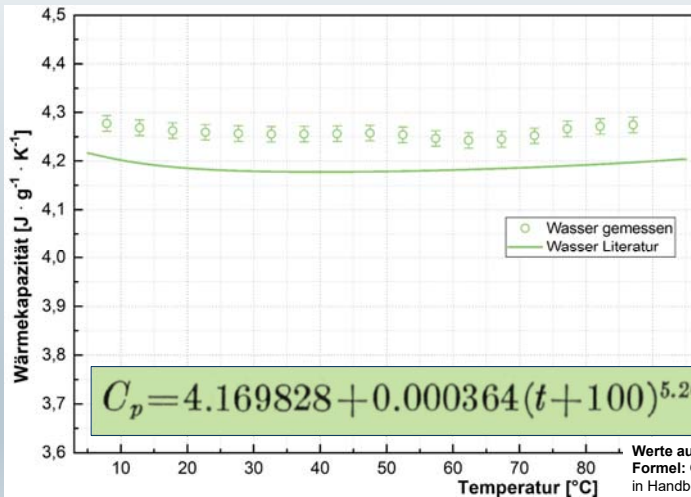
S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen, AKT Sitzung Gräfeling 2.-3. März 2026

14

Bestimmung der Wärmekapazität



µDSC 7 evo – step method – Korrektur der Messwerte



Korrektur Vorgehen:

- Messung der Wärmekapazität
 - Wasser +5 – 95 °C
 - Toluol -40 – 95 °C
 - Tiegel voll gefüllt (fast keine Gasphase)

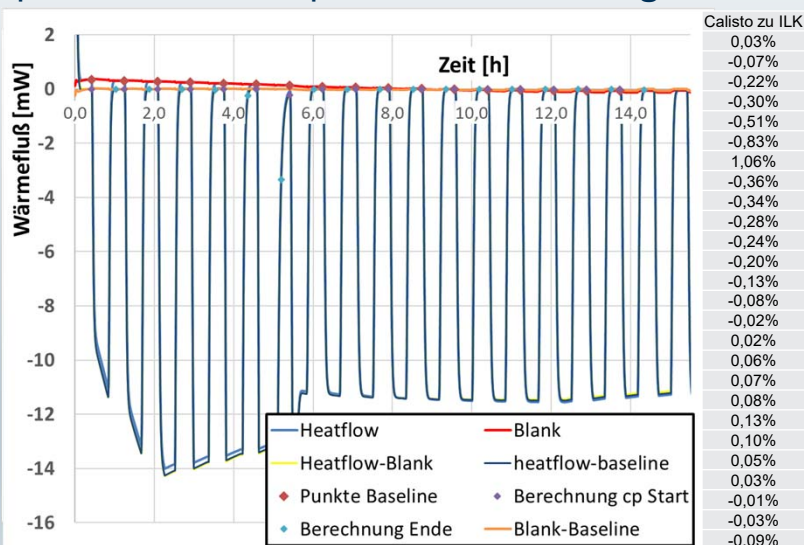
➤ Vergleich mit Literaturdaten

Werte aus: Kohlrausch, F.; Praktische Physik, Teubner, Stuttgart (1968) Band 3; S.45.
Formel: Osborne, Stimson, and Ginnings, B. of S. Jour. Res., 23, 238 (1939)
in Handbook of Chemistry and Physics

Bestimmung der Wärmekapazität



µDSC 7 evo – step method - Messungen



Messungen

- Messung der Wärmekapazität von
 - -40 – 95 °C
 - Tiegel voll gefüllt korrigierte Werte

Vergleich

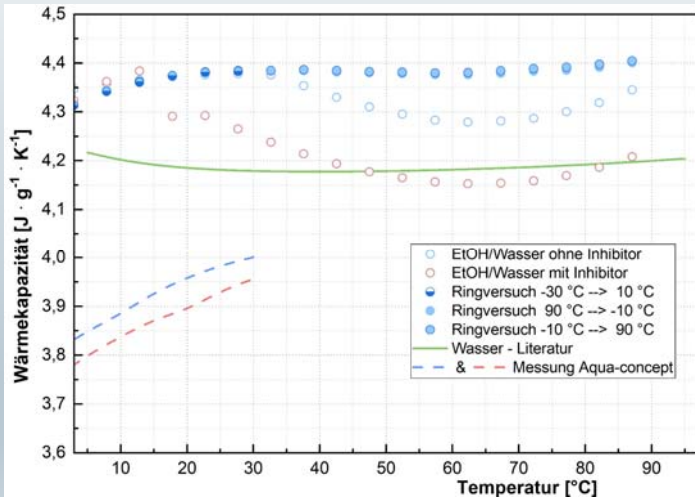
- Berechnung aus Originalmesswerten
 - gegen Software (Calisto)



Bestimmung der Wärmekapazität



μ DSC 7 evo – step method - Messungen



Messungen

- Messung der Wärmekapazität von
 - -40 – 95 °C
 - Tiegel voll gefüllt korrigierte Werte

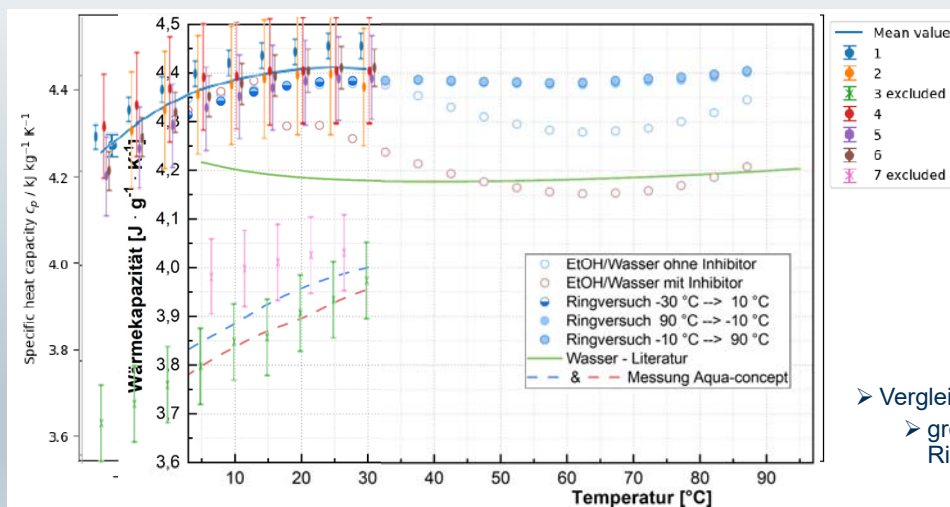
Vergleich

- Berechnung aus Originalmesswerten
 - gegen Software (Calisto)
 - kein Abweichung, nicht dargestellt
- Vergleich mit Ringversuch
 - & ergänzenden Messungen
 - Ringversuch i.O. → neue Messung muss wiederholt werden
- Vergleich mit anderer Methode
 - große Differenz (ähnlich Ringversuch)

Bestimmung der Wärmekapazität



Ergebnisse des Ringvergleiches



- Vergleich mit anderer Methode
 - große Differenz (ähnlich Ringversuch)

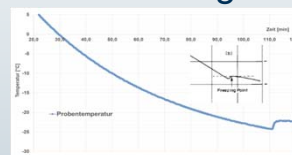
Zusammenfassung



Laborvergleich zur Messung thermodynamischer Eigenschaften von Kühlsolen zwischen Industrie und angewandter Forschung

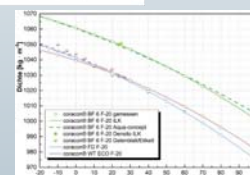
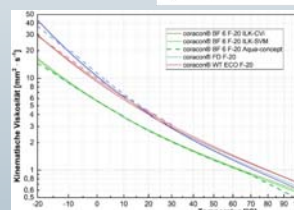
Frostsicherheit

- Diskussion über den "wahren" Freezing Point nach ASTM D 1177
- Unterschiedliche Auslegung der Norm ist auch marktgetrieben



Dichtebestimmung

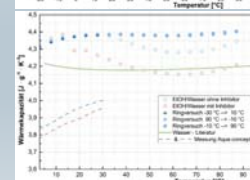
- Gute Übereinstimmung der Messungen
- Sehr ausgereifte Messmethodik bzw. Geräte am Markt



Bestimmung der Viskosität

- Gute Übereinstimmung der Messungen
- Inter- und Extrapolationsformeln beachten

$$\text{Area} \sinh(\ln v) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} \cdot (\ln T)^i \cdot x^j$$



Wärmekapazität

- Bestimmung bedarf äußerster Sorgfalt
- sehr unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Laboren

S. Feja, Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen, AKT Sitzung Gräfeling 2.-3. März 2026

19

Thermodynamische Eigenschaften von Kühlsolen - Laborvergleich

ILK DRESDEN
Exzellenz ab null Kelvin



Steffen Feja und weitere

Angewandte Werkstofftechnik
Thermodynamik und Chemie der Arbeitsstoffe der Kältetechnik

0351 4081 5411 | steffen.feja@ilkdresden.de

Bei Fragen, fragen Sie bitte!

@ilkdresden 20.April 2026